



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS DE MINAS  
-----

Ríos Rosas, 21  
28003 MADRID.

**DEPARTAMENTO DE**  
**INGENIERÍA QUÍMICA Y COMBUSTIBLES**

**PROGRAMA DE LA ASIGNATURA**

***TECNOLOGÍA DE CEMENTOS***

**Curso** : 5<sup>o</sup>  
**Cuatrimestre** : 1<sup>o</sup>  
**Carácter** : Libre elección

**Créditos totales**  
Teóricos : 2,4  
Prácticos : 2,1

**PLAN DE ESTUDIOS 1996**

Edición 2: 2002-09-23

## TECNOLOGIA DE CEMENTOS: PROGRAMA

### *a) OBJETIVOS Y CONTENIDOS*

#### **BLOQUE 1: Introducción**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 1.1 Conocer la estructura y panorámica de producción y consumo mundial y nacional del sector cementero.*
- 1.2 Conocer los diagramas de fases sílice-cal, cal-alúmina y estados alotrópicos del cuarzo, los distintos componentes mineralógicos de un clinker de cemento Portland y sus propiedades.*
- 1.3 Conocer las materias primas empleadas en la fabricación de los cementos justificando su importancia en cada caso.*

##### CONTENIDOS

#### 1.1: ESTRUCTURA Y PANORÁMICA DEL SECTOR CEMENTERO MUNDIAL Y NACIONAL

- Consumo final directo de la energía.
- Estructura del consumo de la energía.
- Panorámica del sector cementero en España.

#### 1.2: ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS DE FASES APLICABLES A LA INDUSTRIA CEMENTERA

- Componentes mineralógicos del clinker.
- Diagrama sílice-cal.
- Diagrama cal-alúmina.
- Estados alotrópicos del cuarzo.

#### 1.3: MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO

- Materias primas necesarias.
- Rocas aportadoras de CaO.
- Rocas aportadoras de SiO<sub>2</sub>.
- Rocas aportadoras de CaO y SiO<sub>2</sub>.
- Componentes correctores.

#### **BLOQUE 2: Fabricación del clinker.**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 2.1 Conocer las etapas y procedimientos de fabricación del clinker.*
- 2.2 Analizar los índices y módulos que se aplican en la dosificación de las materias primas.*

- 2.3 Aplicar los métodos numéricos adecuados para el cálculo de la dosificación adecuada de las materias primas, así como el método gráfico de Grun y Kunze.
- 2.4 Comprender el empleo de las rocas y componentes correctores en la fabricación del clinker.
- 2.5 Conocer las propiedades físicas y químicas de cada componente mineralógico del clinker y determinarlos con el método de Bogue, incluso en los cementos con gran cantidad de hierro.
- 2.6 Comprender el funcionamiento de los molinos de bolas y calcular sus principales parámetros y rendimientos específicos en la fabricación del cemento.
- 2.7 Conocer los sistemas de molienda y los tipos de molinos utilizados.
- 2.8 Conocer los diversos sistemas de homogeneización del crudo del cemento.
- 2.9 Conocer las distintas zonas de los hornos verticales y horizontales, así como su funcionamiento.
- 2.10 Conocer los distintos tipos de hornos rotatorios.
- 2.11 Conocer los distintos procedimientos para recuperar el calor en los hornos por vía húmeda y en los hornos por vía seca
- 2.12 Comprender las diferencias entre los sistemas Lepol y Humboldt.
- 2.13 Analizar los consumos específicos y rendimientos de los distintos tipos de hornos.
- 2.14 Describir los tipos de anillos, causas de su formación y eliminación en los hornos horizontales.
- 2.15 Conocer los distintos tipos de forros de refractarios utilizados en los hornos, su desgaste, duración y reposición.
- 2.16 Comprender los diagramas de Rankin y Lea-Parker y los eutécticos de Hansen.
- 2.17 Aplicar las fórmulas de Lea y Bogue para el cálculo de la fase líquida.
- 2.18 Analizar la termodinámica del horno y los distintos tipos de enfriadores.
- 2.19 Desarrollar el cálculo calorífico teórico de la fabricación de un tipo de clinker.
- 2.20 Realizar los balances de energía de las instalaciones de hornos por vía húmeda con enfriador de parrilla y con enfriador de satélites, las instalaciones por vía semiseca y las instalaciones de hornos por vía seca de cuatro etapas y enfriadores de satélites.

## CONTENIDOS

### 2.1 PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN DEL CLINKER

- Etapas en el proceso de fabricación del clinker.
- Procedimiento por vía seca.
- Procedimiento por vía húmeda.
- Ventajas del procedimiento por vía húmeda.
- Ventajas del procedimiento por vía seca.
- Consumo específico y rendimiento térmico de los distintos procedimientos.

### 2.2: INDICES Y MÓDULOS

- Análisis de las materias primas.
- Módulos del clinker.
- Cantidad máxima de cal.

### 2.3: MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN DEL CRUDO

- Cálculo de la composición de un crudo.
- Composición del clinker.
- Planteamiento matemático.
- Diagrama triangular.
- Dosificación gráfica por el método de Grun y Kunze.
- Cálculo de la cal disponible para la formación de silicatos.
- Localización en el diagrama triangular de las distintas materias primas.

- Empleo de rocas correctoras.
- Dosificación de las materias primas.

#### 2.4 : CARACTERÍSTICAS DE UN CLINKER

- Componentes mineralógicos de un clinker.
- Propiedades de los componentes mineralógicos.
- Aplicación de los clinker según su composición.
- Determinación de los componentes mineralógicos de un clinker por el método de Bogue.
- Aplicación del método de Bogue a los clinker con gran contenido de hierro.

#### 2.5: LA MOLIENDA EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS

- Caída de las bolas sin material para moler.
- Velocidad de la rotación del molino.
- Grado de compacidad y grado de llenado.
- Molinos compound.
- Diagrama de molienda normal.
- Cálculo del desgaste de las bolas.
- Datos acerca de las bolas para molienda.
- Ensayos de rendimiento de los molinos de bolas.
- Rendimiento específico de la molturación.
- Molienda por vía seca en circuito abierto y circuito cerrado.
- Comparación de los sistemas de molienda en circuito abierto y circuito cerrado.

#### 2.6: LA HOMOGENEIZACIÓN DEL CRUDO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO

- Sistemas de homogeneización del crudo.
- Homogeneización neumática del crudo. Sistemas.
- Condiciones óptimas para la homogeneización.

#### 2.7 : LOS HORNOS EN LA FABRICACIÓN DEL CLINKER

- Instalación con horno vertical: zonas del horno.
- Horno rotatorio: zonas. Tipos de horno rotatorio.
- Recuperación del calor en los hornos por vía húmeda: Procedimientos.
- Comparación de los sistemas Lepol y Humboldt.
- Antigüedad y relación hornos-proceso productivo de los hornos instalados en España.
- Variación del consumo específico y rendimiento de los hornos por vía semiseca y vía seca.
- Distribución de los hornos por vía seca según el sistema de precalentamiento de la harina de crudo.
- Tipos de anillos y causas de su formación. Eliminación.
- Tipos de refractarios para los hornos.
- Diagramas de equilibrio  $\text{CaO-SiO}_2$ ,  $\text{MgO-SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ .
- Composición de las briquetas de tipo ácido y básico.
- Evolución de la producción de los refractarios industriales.
- Características de las zonas del horno.
- Requisitos que deben cumplir los forros: capacidad de resistencia química, poder refractario bajo presión, resistencia mecánica, resistencia al rozamiento, estabilidad frente a los cambios de temperatura, dilatación por el calor o estabilidad de volumen, conductividad térmica, porosidad.
- Desgaste, duración y colocación del refractario de los hornos.

#### 2.8: LA FASE LIQUIDA Y ENFRIAMIENTO DEL CLINKER

- Diagrama de Rankin.

- Diagrama de Lea y Parker.
- Eutécticos de Hansen.
- Cálculo de la cantidad de la fase líquida: Fórmulas de Lea y corregidas de Bogue.
- Enfriamiento del clinker: tipos de enfriadores.
- Distribución de las instalaciones españolas según el tipo de enfriamiento.

## 2.9: TERMODINAMICA DE LA FABRICACION DEL CLINKER

- Termoquímica del horno.
- Estudio de los distintos calores desarrollados.
- Cálculo teórico de la termoquímica de la fabricación del clinker.
- Balance de calor: Hornos por vía húmeda con enfriador de parrilla, por vía húmeda con enfriador de satélites, por vía semiseca, por vía seca con precalentador de cuatro etapas y enfriador de satélites.

## **Bloque 3: Procesos de hidratación del cemento Portland y durabilidad**

### *OBJETIVOS ESPECIFICOS*

- 3.1 Comprender, desde el punto de vista químico, la hidratación de los distintos componentes de un clinker.*
- 3.2 Conocer los procedimientos de curado del mortero.*
- 3.3 Comprender la necesidad de la adición de yeso al clinker.*
- 3.4 Analizar la influencia de la cantidad de yeso añadida.*
- 3.5 Interpretar la hidratación de un cemento Portland.*
- 3.6 Analizar la acción de los agentes físicos y químicos externos sobre el mortero fraguado.*

### CONTENIDOS

#### 3.1: HIDRATACION DEL CEMENTO

- Teorías de la hidratación.
- Manifestación exterior de la hidratación.
- Interpretación química de la hidratación: Aluminatos, silicatos, ferrito-aluminatos, cal y magnesia libres.
- Estructura del cemento hidratado.
- Resistencia de los cementos hidratados: Constitución química-mineralógica, cantidad de agua añadida, granulometría del cemento.
- Calor total desprendido en la hidratación.

#### 3.2.: ADICION DE YESO AL CLINKER

- Influencia de la cantidad añadida.

#### 3.3: CURADO DEL MORTERO

- Procedimientos de curado del mortero: Ventajas y aplicación de cada uno.
- Tiempo de fraguado.

#### 3.4: ACCION DE LOS AGENTES FISICOS

- Acción del frío.

- Acción del calor.

### 3.5: ACCION DE LOS AGENTES QUIMICOS

- Acción química de las aguas sobre los componentes hidratados de los cementos.
- Acción de los distintos agentes químicos sobre los morteros.

## **Bloque 4: Clasificación y utilización de los cementos**

### *OBJETIVOS ESPECIFICOS*

*4.1 Conocer la clasificación de los cementos y tipos.*

*4.2 Comprender la influencia de la composición de los distintos tipos de cemento en su hidratación.*

*4.3 Seleccionar correctamente los cementos indicados para cada tipo de obra.*

### CONTENIDOS

#### 4.1: CLASIFICACION Y TIPOS

- Definiciones y denominaciones.
- Composición de los distintos cementos.
- Clasificación de los cementos. Resistencias físicas a la comprensión.
- Cementos Portland.
- Cementos con adiciones activas.

#### 4.2: CEMENTOS TIPO I

- Composición.
- Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.

#### 4.3: CEMENTOS TIPO II

- Composición.
- Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.
- Influencia de las adiciones en la hidratación de los cementos.

#### 4.4: CEMENTOS TIPO III

- Utilización de las escorias siderúrgicas.
- La escoria como materia prima de los cementos.
- Tipos de cementos siderúrgicos.
- Interpretación teórica de la hidratación de los cementos Tipo III.
- Características: Resistencia química, tiempo de fraguado, calor de hidratación, coloración, especificaciones químicas, físicas y mecánicas.

#### 4.5: CEMENTOS TIPO IV

- Comparación de las composiciones químicas del clinker del cemento Portland, las escorias siderúrgicas y las

- puzolanas.
- Cementos tipo IV.
- Interpretación teórica de la hidratación de los cementos tipo IV.
- Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.

#### 4.6: CEMENTOS TIPO V

- Composición.
- Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.

#### 4.7: CEMENTOS DE ALUMINATO DE CALCIO

- Materias primas para su fabricación.
- Diagrama de Rankin en la fabricación de estos cementos.
- Compuestos mineralógicos de los distintos tipos de cementos.
- Interpretación de su hidratación.
- Características principales: Expansión, fraguado, resistencias mecánicas y tiempo en alcanzarlas, calor de hidratación.
- Interés de las mezclas con cemento Portland.
- Especificaciones químicas, físicas y mecánicas.

#### 4.8: OTROS TIPOS DE CEMENTOS

- Cementos comunes.
- Cementos resistentes a los sulfatos y/o al agua de mar.
- Cementos de bajo calor de hidratación.
- Cementos para usos especiales.

#### 4.9: CÓDIGOS DE UTILIZACIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO

- Principales campos de aplicación de los cementos de las normas UNE 1996.
- Utilización y precauciones a tener en cuenta.
- Grados de utilización de los cementos.
- Etiquetado y marcado de las bolsas o sacos de cemento.

### **b) BIBLIOGRAFIA**

#### BÁSICA:

- BOGUE, R.H. *La química del cemento Portland*. Dossat. Madrid, 1952.
- TAYLOR, H.F. *Cement Chemistry*. Academic Press, Londres, 1990.
- CALLEJA, J. *Recomendaciones para la utilización de los cementos de las normas UNE 1996*. IECA. Madrid, 1998.

#### COMPLEMENTARIA:

- REZOLA, J. *Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cementos*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1976.
- BLANKS, R.F. *The Technology of Cement and Concrete*. Wiley . Nueva York, 1976.

***c) PRACTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS***

No hay.

***d) PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN***

1. El contenido de la asignatura se divide en tres partes: Teoría, problemas, aplicaciones prácticas. Las dos primeras de idéntico peso, pero con la condición de alcanzar como mínimo tres puntos en cada una. La tercera es para mejorar a partir del aprobado.
2. La evaluación de la teoría se lleva a cabo mediante cuestiones breves valorando la capacidad de aplicación de los conceptos estudiados, evitando la reproducción de lo expuesto en las clases o contenido literal de los textos recomendados.
3. Los problemas son de aplicación de conceptos y tienen características similares a los resueltos durante el curso. Con el enunciado se adjunta toda la documentación necesaria para su resolución.